



Scan online to view this article

Effect of salinity stress levels on some Growth parameters, Mineral ion concentration, Osmolytes, Non-enzymatic antioxidants and phenylalanine ammonialyase activity in three genotypes of

(*Chenopodium quinoa* Willd)

Tahereh Jafari¹, Alireza Iranbakhsh^{1*}, Kazem Kamali Aliabad², Fatemeh Daneshmand³, S.Ebrahim Seifati²

1. Department of Biology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2. Department of Arid Land and Desert Management, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran.

3. Department of Biology, Payame Noor University, Tehran, Iran.

Abstract

Aim and Background: Salinity is one of the most important stresses that has affected food security. (*Chenopodium quinoa*) is a plant that is currently considered worldwide as a food substitute for wheat, rice, barley and corn. The aim of this study was to investigate the activity of antioxidants, some osmolites, ions and minerals to identify salinity resistant genotypes that can be grown by cultivating quinoa in hot and dry regions of the country that face temperature, drought and salinity stresses. This plant was used as food for humans and fodder for livestock.

Materials and Methods: In this study, physiological responses of 3 genotypes (Q₁₈, Rosada, Sajama) with relatively high yields were investigated at different levels of salinity stress (control (EC=1.5) and 8, 16, 32 dS/m) in greenhouse conditions and Plants were harvested in the twelfth week for morphophysiological and biochemical measurements and studies were performed on the plant.

Results: By studying the results of Na⁺ content in salinity stress, it seems that Sajama and Rosada have more ability to prevent Na⁺ transfer from root to shoot and prevent K⁺ reduction, also the total amount of elements (Cu⁺², Mn⁺², Ca⁺², Zn⁺², Fe⁺²) decreased at salinity 32 dS/m. The results showed that comparing the growth parameters and increasing proline and decreasing the protein content at salinity 32 dS/m can be associated with reduction of chlorophyll, carotenoids, reduced sugars, total carbohydrates, increased oxidative stress and H₂O₂ content. However, total ascorbate and glutathione content remained constant at salinity 32 dS/m in Q₁₈, but Sajama and Rosada decreased and phenylalanine ammonialyase activity increased in all genotypes and all salinity levels. Phenolic compounds, flavonoids and anthocyanins in genotyp Rosada showed a greater increase in salinity stress than the other two genotypes.

Conclusion: The total results showed according to the rate of reduction of growth parameters, genotype Sajama seems to be more tolerant of salt than the other two genotypes and the salinity tolerance of Rosada genotype is lower than the other two genotypes but there is no relationship between increased phenolic compounds, flavonoids and anthocyanins and salinity resistance in this genotype.

Key Words: Hydrogen peroxide, Mineral ions, Non-enzymatic antioxidants, Osmolites, Phenylalanine ammonialyase, Quinoa, Iau Science.

Corresponding author:

Department of Biology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Email: Iranbakhsh@iau.ac.ir



برای مشاهده این مقاله به صورت آنلاین اسکن کنید

تأثیر سطوح تنش شوری بر برخی پارامترهای رشد، غلظت یون های معدنی، اسمولیت ها، آنتی اکسیدان های غیر آنزیمی و فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لیا ز در سه ژنوتیپ کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd)

طاهره جعفری^۱، علیرضا ایران بخش^{۱*}، کاظم کمالی علی آباد^۲، فاطمه دانشمند^۳، سید ابراهیم سیفتی^۴

۱. گروه زیست شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲. دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی - گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشگاه یزد، ایران
۳. گروه زیست شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

چکیده

سابقه و هدف: شوری یکی از مهم ترین استرس هایی است که، امنیت غذایی را تحت تأثیر قرار داده است. کینوا (*Chenopodium quinoa*) گیاهی است که در حال حاضر در سراسر جهان به عنوان جایگزین غذایی گندم، برنج، جو و ذرت در نظر گرفته می شود. هدف از این تحقیق بررسی فعالیت آنتی اکسیدان ها، برخی اسمولیت ها، یون ها و عناصر معدنی برای تشخیص ژنوتیپ های مقاوم به شوری است که بتوان با کشت کینوا در مناطق گرم و خشک کشور که با تنش های دمایی، خشکی و شوری مواجه هستند، از این گیاه به عنوان غذا برای انسان و علوفه برای دام استفاده کرد.

مواد و روش ها: در این مطالعه، پاسخ های فیزیولوژیکی ۳ ژنوتیپ کینوا (*Q18*, *Rosada*, *Sajama*) که عملکرد به نسبت بالایی داشتند در سطوح مختلف تنش شوری (کنترل ($EC=1/5$)، ۸۰، ۱۶، ۳۲ دسی زیمنس بر متر) در شرایط گلخانه ای مورد بررسی قرار گرفتند و گیاهان در هفته دوازدهم جهت سنجش های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی برداشت و مطالعه ها بر روی گیاه انجام شد.

یافته ها: با مطالعه نتایج مقادیر سدیم در تنش شوری، به نظر می رسد *Rosada* و *Sajama* توانایی بیش تری در جلوگیری از انتقال سدیم از ریشه به اندام هوایی و جلوگیری از کاهش پتاسیم دارند و همچنین مقدار کل عناصر (مس، منگنز، کلسیم، روی، آهن) در تنش شوری ۳۲ دسی زیمنس بر متر کاهش یافتند. نتایج نشان داد که مقایسه پارامترهای رشد و افزایش پرولین و کاهش میزان پروتئین در تنش شوری ۳۲ دسی زیمنس بر متر می تواند با کاهش کلروفیل، کاروتنوئیدها، قندهای احیا، کربوهیدرات های کل و افزایش تنش اکسیداتیو و میزان H_2O_2 مرتبط باشد. اما میزان اسکوربات کل و گلوکاتایون در تنش ۳۲ دسی زیمنس بر متر در $Q18$ ثابت ماند ولی در *Rosada* و *Sajama* کاهش یافت و فعالیت فنیل آلانین آمونیا لیا ز در همه سطوح شوری و در همه ژنوتیپ ها افزایش داشت و ترکیب های فنلی، فلاونوئیدها و آنتوسیانین ها در *Rosada* در تنش شوری نسبت به دو ژنوتیپ دیگر افزایش بیش تری نشان داد.

نتیجه گیری: مجموع نتایج نشان داد که با توجه به میزان کاهش پارامترهای رشد به نظر می رسد ژنوتیپ *Sajama* نسبت به دو ژنوتیپ دیگر تحمل بیش تری به نمک داشته باشد و میزان تحمل شوری ژنوتیپ *Rosada* نسبت به دو ژنوتیپ دیگر کم تر است. اما ارتباطی بین افزایش ترکیب های فنلی، فلاونوئیدها و آنتوسیانین ها و مقاومت به شوری در این ژنوتیپ وجود ندارد.

واژه های کلیدی: آنتی اکسیدان های غیر آنزیمی، اسمولیت ها، پراکسید هیدروژن، فنیل آلانین آمونیا لیا ز، کینوا، یون های معدنی، Iau Science.

نویسنده مسئول:

گروه زیست شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

پست الکترونیکی: Iranbakhsh@iau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۵

مقدمه

امروزه شوری آب و خاک یکی از مهم‌ترین تهدیدات در کشاورزی است. این تنش محیطی، جوانه‌زنی، رشد و نمو و تولید محصولات گیاهی را تحت تأثیر خود قرار داده است (۱). شوری آب و خاک سبب بروز تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی متعددی در گیاهان می‌شود، به‌علاوه تحمل شوری در گیاهان یکسان نیست و در یک گیاه نیز مراحل مختلف رشد و نمو ممکن است حساسیت‌های متفاوتی نسبت به تنش شوری نشان دهد (۲).

تنش شوری به‌خصوص غلظت بالای Na^+ و Cl^- در خاک بر جذب مواد معدنی تأثیر می‌گذارد، زیرا Na^+ به‌طور رقابتی موجب مهار جذب K^+ ، Ca^{+2} و سایر کاتیون‌ها و Cl^- موجب مهار جذب آنیون‌ها می‌گردد. از طرف دیگر جذب و انتقال مقادیر بالای Na^+ در قسمت‌های مختلف گیاه و برگ‌ها، موجب جایگزینی آن با Ca^{+2} در فضای آپوپلاستی شده که منجر به دیپلاریزاسیون غشاء سلول می‌شود و در نتیجه با اختلال توانایی غشاهای جذب و انتقال برخی یون‌ها، عدم تعادل یونی غیر قابل اجتناب خواهد بود (۳)، از دیگر تغییرات بیوشیمیایی که تحت تنش شوری رخ می‌دهد، افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن است که باعث آسیب اکسیداتیو و آسیب غشای سلولی می‌شود. الکترون‌های تراوش شده از زنجیره انتقال الکترون می‌توانند با اکسیژن مولکولی واکنش داده و انواع گونه‌های فعال اکسیژن مانند رادیکال سوپراکسید، هیدروکسیل و پراکسید هیدروژن را تولید نمایند. این گونه‌های فعال اکسیژن بسیار واکنش‌گر و سمی هستند و در غیاب یک مکانیسم محافظتی قوی می‌توانند به ساختار لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک صدمه بزنند، بنابراین با ایجاد تنش اکسیداتیو

مواد و روش‌ها

کاشت و آماده سازی گیاهان

جهت بررسی تغییرات محتوای یون‌ها و برخی شاخص‌های فیزیولوژی و بیوشیمیایی ارقام متفاوت کینوا تحت تأثیر تنش شوری، بذره‌های سه ژنوتیپ کینوا شامل Rosada، Sajama و Q_{18} از مرکز تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه گردید و تحت تأثیر ۳ سطح

و آسیب به سلول‌های گیاهی، رشد گیاه کاهش می‌یابد (۴).

گیاهان تنش شوری را با فعال کردن پاسخ‌های مولکولی و بیوشیمیایی در سطح سلولی یا کل گیاه تحمل می‌کنند (۵). گیاهان استراتژی‌های مختلفی نظیر تنظیم جذب یون به‌وسیله ریشه و انتقال آن به قسمت‌های مختلف گیاه، تغییر آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی، تغییر مکانیسم‌های فتوسنتزی و تغییر برخی هورمون‌های گیاهی برای کاهش اثرات سمیت نمک و جلوگیری از آسیب ROS در سطح کل گیاه دارند (۶).

امروزه مشکل شوری، توجه را به سمت کشت گیاهان متحمل به نمک مانند کینوا جلب کرده است (۷). کینوا (*Chenopodium quinoa* Wild) گیاهی یک ساله و از خانواده Amaranthaceae و زیر خانواده Chenopodiaceae است. این گیاه در سال‌های اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته زیرا علاوه بر منبع بسیار خوب پروتئین گیاهی به‌عنوان جایگزین برنج، گندم و ذرت برای ایجاد امنیت غذایی در جهان مطرح است. کینوا یک گیاه قدیمی در منطقه آند بوده که دانه‌های این گیاه به مادر دانه‌ها معروف است و دارای توانایی تحمل نمک و سازگاری با شرایط محیطی و جغرافیایی مختلف می‌باشد و پتانسیل بالایی برای کشت در مناطق شور دارد. اما میزان تحمل به نمک در میان ارقام و ژنوتیپ‌های مختلف آن یکسان نیست (۸).

هدف از این تحقیق بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها، برخی اسمولیت‌ها، یون‌ها و عناصر معدنی برای تشخیص ژنوتیپ‌های مقاوم به شوری است که بتوان با کشت کینوا در مناطق گرم و خشک کشور که با تنش‌های دمایی، خشکی و شوری مواجه هستند، از این گیاه به‌عنوان غذا برای انسان و علوفه برای دام استفاده کرد. شوری ۸ dS/m و ۱۶ dS/m و ۳۲ dS/m به همراه شاهد با ($EC=1/5$) در ۳ تکرار به‌صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح کامل تصادفی در گلخانه پژوهشی- تحقیقاتی دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی دانشگاه یزد (طول $31^{\circ} 21' 31.705''$ و عرض $33^{\circ} 47' 49.43''$) و با دمای محیط حدود ۳۸ درجه سانتی‌گراد در روز و ۲۴ درجه سانتی‌گراد در شب

با رطوبت نسبی ۵۵ درصد و دوره نوری ۱۴ ساعت در روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی و با شدت نور $\mu\text{mol.m}^2.\text{s}$ ۷۷ کشت گردید و به منظور تأمین نیاز غذایی گیاه، از محلول غذایی هوگلند استفاده شد. بذور ژنوتیپهای مورد نظر در گلدان‌هایی با قطر ۲۶ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر، محتوی خاک لومی (مخلوط شن و هوموس به نسبت ۲:۱) کشت و آبیاری با آب معمولی تا دو هفته انجام و سپس آبیاری با سطوح مختلف شوری تا هفته دوازدهم ادامه یافت. با در نظر گرفتن بستر کشت (خاک گلدان) بر اساس تیمارهای مورد نظر هر ۴ روز یکبار آبیاری و سنجش شوری خاک (EC) نیز هر ۱۰ تا ۱۲ روز یکبار انجام گرفت. در صورتی که تجمع املاح منجر به افزایش شوری خاک بالاتر از غلظت‌های مورد نظر در هر تکرار بود، آبیاری با آب مقطر انجام تا سطوح مورد نظر تأمین شوند. در هفته دوازدهم گیاهان جهت انجام مطالعه‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی برداشت و بلافاصله در نیتروژن مایع قرار گرفتند. پس از آن نمونه‌ها در فریزر ۸۰- درجه سانتی‌گراد برای سنجش‌های بعدی نگهداری شدند و سنجش‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی روی برگ‌های پرچم گیاه انجام شد.

برداشت گیاهان و سنجش پارامترهای رشد وزن تر اندام هوایی و ریشه

بعد از برداشت گیاهان، بخش هوایی از محل یقه جدا شد و وزن تر اندام هوایی و ریشه، بر حسب گرم بر گیاه اندازه‌گیری و ثبت گردید.

طول اندام هوایی، قطر ساقه و تعداد برگ

بعد از برداشت گیاهان، طول اندام هوایی بر حسب سانتی‌متر و قطر ساقه با استفاده از کولیس دیجیتالی، بر حسب واحد میلی‌متر و تعداد برگ‌های گیاهان در گروه‌های تیماری مختلف شمارش و گزارش گردید.

یون‌های معدنی

برای اندازه‌گیری یون‌های پتاسیم، سدیم، کلسیم، آهن، روی، منگنز و مس، ۱ گرم از بافت خشک اندام هوایی و ریشه گیاهان در ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت. سپس نمونه‌های حل شده در اسید به آرامی گرم شدند تا اسید آن تبخیر گردد. حجم محلول باقی‌مانده (حدود ۱ میلی‌لیتر) با آب دوبار تقطیر به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد و با کاغذ صافی واتمن، صاف گردید و با دستگاه جذب اتمی، مدل Sens

AA، ساخت شرکت GBC استرالیا، مقدار یون‌ها اندازه‌گیری شد و مقدار آن‌ها بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک گزارش گردید (۹).

پراکسید هیدروژن (H_2O_2)

سنجش پراکسید هیدروژن با استفاده از روش Velikova و همکاران (۲۰۰۰) انجام شد (۱۰). اندام هوایی گیاه در حمام یخ با تری‌کلرواستیک اسید ۰/۱ درصد سائیده شد. عصاره در سانتریفوژ یخچال دار، در ۱۰۰۰۰ برای ۱۵ دقیقه سانتریفوژ گردید. سپس ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول رویی به ۰/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰ میلی‌مولار ($\text{pH} = 7$) و ۱ میلی‌لیتر یدید پتاسیم یک مولار اضافه گردید و جذب در طول موج ۳۹۰ نانومتر خوانده شد. مقدار پراکسید هیدروژن در هر نمونه با استفاده از منحنی استاندارد محاسبه شد و بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر گزارش گردید.

رنگیزه‌های فتوسنتزی

اندازه‌گیری مقدار کلروفیل کل و کاروتنوئیدها با استفاده از روش Lichtenthaler (۱۹۸۷) انجام پذیرفت و مقدار کلروفیل کل و کاروتنوئیدها بر حسب میکروگرم بر گرم وزن تر محاسبه گردید (۱۱).

قندهای احیاکننده و کربوهیدرات‌های محلول

اندازه‌گیری مقدار قندهای احیاکننده از روش Somogy (۱۹۵۲) و سنجش کربوهیدرات‌های محلول از روش Fales (۱۹۵۱) انجام گردید. غلظت هر نمونه با استفاده از منحنی استاندارد گلوکز، بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه و ارائه گردیدند (۱۲).

پروتئین کل

برای سنجش مقدار پروتئین، ابتدا پروتئین‌ها از اندام‌هوایی گیاه در دمای ۴-۰ درجه سانتی‌گراد استخراج شدند. عصاره حاصل برای سنجش مقدار پروتئین از روش Bradford (۱۹۷۶) استفاده شد (۱۳) و برای محاسبه غلظت پروتئین از منحنی استاندارد آل‌بومین گاوی استفاده و بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه و گزارش گردید.

پرولین

برای اندازه‌گیری پرولین، ۰/۲ گرم از بافت فریز شده گیاه در ۱۰ میلی‌لیتر محلول ۳ درصد سولفوسالسیلیک اسید سائیده و عصاره حاصل به مدت ۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰g سانتریفوژ شد. از عصاره حاصل برای سنجش

فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالاز (PAL) (EC)

(4.3.1.5)

برای تهیه عصاره آنزیمی مقدار ۳۰۰ میلی گرم از بافت تازه برگ های جوان با ۶/۵ میلی لیتر بافر تریس-HCl با اسیدیته ۸/۸ (۵۰ میلی مولار) حاوی بتامرکاپتواتانول (۱۵ میلی مولار) در هاون سرد ساییده شد. سپس، عصاره به دست آمده با دور ۵۰۰۰۰g به مدت ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ و محلول رویی برای سنجش فعالیت آنزیم استفاده شد. فنیل آلانین آمونیالاز واکنش تبدیل فنیل آلانین به سینامیک اسید را کاتالیز می کند. در این روش از فنیل آلانین به عنوان سوبسترا آنزیم استفاده شده، فعالیت آنزیم PAL بر اساس سرعت تشکیل سینامیک اسید تعیین می شود. در یک لوله آزمایش یک میلی لیتر از بافر استخراج به همراه ۰/۵ میلی لیتر L- فنیل آلانین (۱۰ میلی مولار)، ۰/۴ میلی لیتر آب دو بار تقطیر شده و یک میلی لیتر عصاره آنزیمی مخلوط و به مدت یک ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد نگهداری شد. واکنش با اضافه کردن ۰/۵ میلی لیتر کلریدریک اسید (۶ مولار) پایان می پذیرد. محصول به وجود آمده با ۱۵ میلی لیتر اتیل استات استخراج شده و سپس اتیل استات تبخیر شد. ماده جامد باقی مانده در ۳ میلی لیتر هیدروکسید سدیم (۰/۵ مولار) حل شد و غلظت سینامیک اسید با اندازه گیری میزان جذب در طول موج ۲۹۰ نانومتر و با ضریب خاموشی معادل $M^{-1}cm^{-1}$ ۹۵۰۰ به دست آمد. یک واحد از فعالیت PAL معادل یک میکرومول از سینامیک اسید تولید شده در یک دقیقه است (۱۹).

تجزیه و تحلیل های آماری

تجزیه و تحلیل های آماری در این مطالعه با آزمایش فاکتوریل و طبق طرح کامل تصادفی با سه تکرار صورت گرفته و داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS تحت آنالیز واریانس قرار گرفته و اختلاف میانگین ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵٪ مقایسه شدند.

نتایج

بررسی پارامترهای رشد در این مطالعه نشان داد که در ژنوتیپ Q₁₈، تنش شوری در سطح ۳۲ dS/m موجب کاهش وزن تر اندام هوایی و ریشه، طول ساقه و کاهش قطر ساقه گردید اما بر تعداد برگ این ژنوتیپ تأثیری نداشت. ژنوتیپ Sajama، در تنش ۳۲ dS/m کاهش

برای محاسبه مقدار پرولین از منحنی استاندارد پرولین استفاده گردید و نتایج برحسب میلی گرم بر گرم وزن تر محاسبه گردید.

آسکوربات کل

سنجش آسکوربات کل از روش De Pinto و همکاران (۱۹۹۹) انجام شد (۱۵) و با استفاده از آسکوربات، منحنی استاندارد رسم گردید و نتایج بر حسب میلی گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد.

گلوتاتیون کل

مقدار گلوتاتیون کل از روش Griffith (۱۹۸۰)، اندازه گیری گردید (۱۶) و محاسبه گلوتاتیون کل از طریق منحنی استاندارد انجام و بر حسب میلی گرم بر گرم وزن تر ارائه گردید.

ترکیب های فنلی کل

محتوای ترکیب های فنلی کل با استفاده از روش Sonald و Laima (۱۹۹۹) انجام گرفت (۱۷) و با استفاده از منحنی استاندارد غلظت ترکیب های فنلی کل بر حسب میلی گرم بر گرم وزن تر محاسبه گردید.

فلاونوئیدها

طبق روش Hong و همکاران (۲۰۰۴) میزان فلاونوئیدها براساس تشکیل کمپلکس فلاونوئید آلومینیم که دارای جذب ماکزیم در طول موج ۴۳۰ نانومتر است، تعیین شد (۱۶). ۱۰ گرم بافت گیاهی (برگ ها و ریشه) تمیز و خشک شده، با ۵۰ میلی لیتر اتانول ۹۵ درصد با هم زدن در دمای اتاق به مدت ۲۴ ساعت عصاره گیری و سپس فیلتر و در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد نگهداری شدند. سپس ۱ میلی لیتر از نمونه با ۱ میلی لیتر از محلول متانولی آلومینیوم کلراید ۲ درصد مخلوط گردید و بعد از نگهداری در دمای اتاق به مدت ۱۵ دقیقه، جذب محلول در طول موج ۴۳۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر اندازه گیری شد. محتوای فلاونوئیدها با استفاده از منحنی استاندارد رسم شده با کوئرتستین محاسبه و بر حسب میلی گرم بر گرم وزن تر ارائه گردید.

آنتوسیانین

از روش Wagner (۱۹۷۹) جهت اندازه گیری مقدار آنتوسیانین های گیاه استفاده شد (۱۸). محاسبه غلظت با استفاده از ضریب خاموشی $M^{-1}cm^{-1}$ ۳۳۰۰۰ انجام و نتایج بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر ارائه گردید.

داد. اما تنش شوری بر قطر ساقه و تعداد برگ آن تأثیری نداشت. در ژنوتیپ Rosada، تنش شوری ۳۲ dS/m موجب کاهش وزن تر اندام هوایی و ریشه، کاهش طول ساقه، قطر ساقه و کاهش تعداد برگ گردید (جدول -۱).

بررسی نتایج اندازه گیری یون های معدنی در ژنوتیپ های مورد مطالعه کینوا نسبت به گیاه کنترل نشان داد، در ژنوتیپ Q₁₈، تنش شوری موجب کاهش پتاسیم، افزایش سدیم و کاهش نسبت K^+/Na^+ در اندام هوایی، ریشه و کل گیاه گردید. در تنش شوری ۱۶ dS/m و ۳۲، کاهش آهن اندام هوایی مشاهده گردید. در تنش شوری ۸ dS/m افزایش آهن کل و سطح شوری ۱۶ dS/m و ۳۲ بر مقدار آهن کل تأثیری نداشت. در تنش شوری ۱۶ dS/m افزایش مقدار مس اندام هوایی و در تنش ۳۲ dS/m کاهش مقدار مس ریشه دیده شد و مقدار مس کل در سطح شوری ۱۶ dS/m، افزایش و در سطح ۳۲ dS/m کاهش یافت. مقدار روی اندام هوایی و کل در همه سطوح تنش شوری کاهش و در ریشه در سطوح تنش ۱۶ dS/m و ۳۲ کاهش را نشان داد. مقدار منگنز اندام هوایی، ریشه و منگنز کل در همه سطوح شوری کاهش پیدا کرد. مقدار کلسیم در اندام هوایی، ریشه و کلسیم کل در تنش شوری ۱۶ dS/m و ۳۲ کاهش یافت.

در ژنوتیپ Sajama، در تنش شوری ۸ dS/m و ۱۶ افزایش پتاسیم اندام هوایی، ریشه و کل و در تنش ۳۲ dS/m کاهش پتاسیم اندام هوایی، ریشه و کل مشاهده گردید. مقدار سدیم اندام هوایی در سطوح شوری ۳۲ dS/m و ۸ افزایش یافت و همه سطوح تنش شوری موجب افزایش مقدار سدیم ریشه و سدیم کل گردید. نسبت K^+/Na^+ در اندام هوایی و ریشه و کل گیاه در تنش شوری ۳۲ dS/m کاهش یافت. مقدار آهن اندام هوایی در شوری ۳۲ dS/m، آهن ریشه در سطوح ۸ dS/m و ۳۲ کاهش و مقدار آهن کل در تنش ۸ dS/m و ۳۲ کاهش و در ۱۶ dS/m افزایش یافت. مقدار مس در اندام هوایی، ریشه و کل گیاه در شوری ۳۲ dS/m کاهش را نشان داد. مقدار روی در اندام هوایی در شوری ۱۶ dS/m و ۳۲ افزایش، در ریشه در تنش ۳۲ dS/m کاهش و مقدار روی کل در همه سطوح شوری کاهش را نشان داد. مقدار منگنز اندام هوایی، ریشه و کل در شوری ۳۲ dS/m کاهش یافت. کاهش مقدار کلسیم اندام هوایی، ریشه و کل در همه سطوح

در ژنوتیپ Rosada کاهش مقدار پتاسیم اندام هوایی، ریشه و کل و افزایش سدیم اندام هوایی، ریشه و کل و کاهش نسبت K^+/Na^+ در اندام هوایی، ریشه و کل، در همه سطوح شوری رخ داد. مقدار آهن اندام هوایی، ریشه و کل در تنش شوری ۳۲ dS/m کاهش یافت. مقدار مس اندام هوایی در شوری ۱۶ dS/m، کاهش، اما مس ریشه و کل در همه سطوح شوری کاهش را نشان داد. مقدار روی در اندام هوایی، ریشه و کل گیاه در شوری ۳۲ dS/m کاهش را نشان داد. مقدار منگنز در اندام هوایی در تنش شوری ۱۶ dS/m افزایش و در شوری ۳۲ dS/m کاهش یافت و در همه سطوح شوری مقدار منگنز ریشه و کل کاهش را نشان دادند. مقدار کلسیم اندام هوایی در همه سطوح شوری کاهش و کلسیم ریشه و کل در تنش ۳۲ dS/m کاهش را نشان دادند (جدول -۲).

نسبت به گیاه شاهد، مقدار H₂O₂ در ژنوتیپ Q₁₈ و Rosada، در همه سطوح تنش شوری افزایش اما در ژنوتیپ Sajama، در شوری ۳۲ dS/m افزایش مشاهده شد (شکل -۱).

میزان کلروفیل نسبت به گیاه کنترل در ژنوتیپ Q₁₈، در سطوح شوری ۱۶ dS/m و ۳۲ کاهش یافت. در ژنوتیپ Sajama، در تنش ۸ dS/m افزایش و در سطح شوری ۳۲ dS/m کاهش را نشان داد. در ژنوتیپ Rosada، مقدار کلروفیل در همه سطوح تنش شوری کاهش یافت.

با توجه به گیاه کنترل، میزان کاروتنوئید در ژنوتیپ Q₁₈ در همه سطوح تنش شوری افزایش، در ژنوتیپ Sajama، در سطوح شوری ۸ dS/m و ۱۶ افزایش و در شوری ۳۲ dS/m کاهش و در ژنوتیپ Rosada، در تنش شوری ۸ dS/m افزایش و سطح تنش ۳۲ dS/m کاهش را نشان داد (شکل -۲: A و B).

مقدار قندهای احیا کننده در ژنوتیپ های Q₁₈ و Sajama، در تنش شوری ۸ dS/m افزایش و در تنش شوری ۳۲ dS/m کاهش و در ژنوتیپ Rosada، در شوری ۱۶ dS/m و ۳۲ در مقایسه با شاهد کاهش یافت. مقدار کربوهیدرات های محلول در ژنوتیپ های Q₁₈، Sajama و Rosada در سطوح شوری ۸ dS/m و ۱۶ افزایش و در تنش ۳۲ dS/m کاهش را نسبت به گیاه شاهد نشان دادند (شکل -۳: A و B).

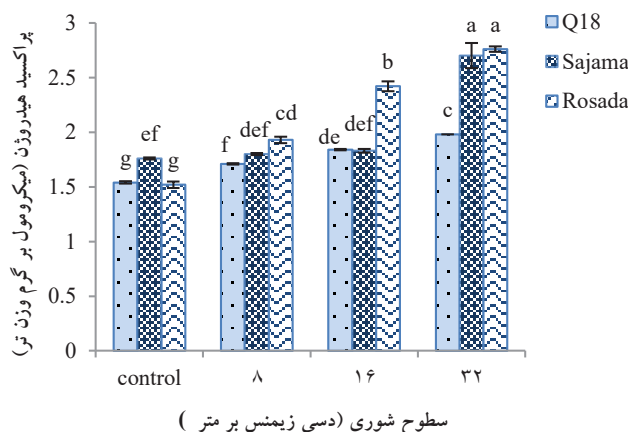
میزان پروتئین در ژنوتیپ های Q₁₈ و Rosada در تنش

میزان ترکیب‌های فنلی نسبت به گیاه کنترل در ژنوتیپ Q_{18} ، در سطوح شوری ۳۲ و ۱۶ dS/m، در ژنوتیپ Sajama، سطح شوری ۸ و ۱۶ dS/m و تنش ۳۲ dS/m بدون تغییر و ژنوتیپ Rosada با افزایش سطح شوری، افزایش ترکیب‌های فنلی را نشان داد. مقدار آنتوسیانین در مقایسه با گیاه کنترل، در ژنوتیپ Q_{18} در همه سطوح شوری افزایش معنی‌داری نداشت، در ژنوتیپ Sajama، در سطوح تنش شوری ۸ dS/m و ۱۶ افزایش و در شوری ۳۲ dS/m کاهش و در ژنوتیپ Rosada در همه سطوح شوری افزایش یافت. در ژنوتیپ Q_{18} ، مقدار فلاونوئید در همه سطوح شوری نسبت به شاهد افزایش یافت، در ژنوتیپ Sajama مقدار فلاونوئید در تنش شوری ۸ dS/m افزایش و در ۳۲ dS/m کاهش یافت و در ژنوتیپ Rosada در همه سطوح شوری افزایش را نشان داد. فعالیت آنزیم PAL در همه سطوح شوری و در هر سه ژنوتیپ Q_{18} ، Sajama و Rosada افزایش یافت (شکل ۷: A, B, C, D).

در هیچ‌کدام از سطوح تنش شوری مقدار پروتئین در مقایسه با شاهد تغییری نداشت (شکل ۴).

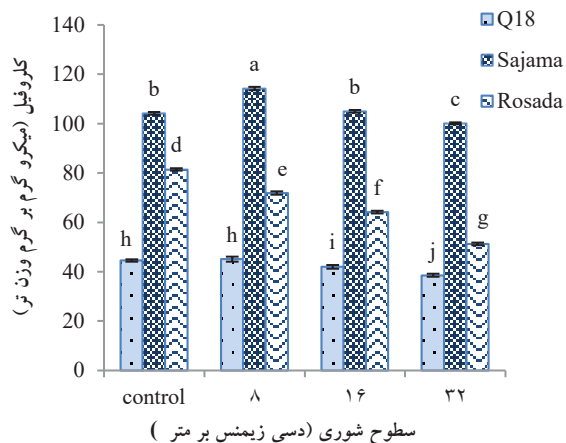
مقدار پرولین ریشه و اندام هوایی در هر سه ژنوتیپ کینوا و در همه سطوح تنش شوری نسبت به شاهد افزایش یافت (شکل ۵: A و B).

مقدار اسکوربات کل در ژنوتیپ Q_{18} ، در شوری dS/m ۱۶ افزایش و در تنش شوری ۸ و ۳۲، نسبت به شاهد بدون تغییر ماند. در ژنوتیپ‌های Sajama و Rosada در تنش شوری ۸ dS/m افزایش و در شوری ۳۲ dS/m کاهش را نسبت به گیاه شاهد نشان دادند. نسبت به گیاه کنترل، میزان گلوکاتیون کل در ژنوتیپ Q_{18} در همه سطوح تنش شوری تغییر معنی‌داری نداشت و در ژنوتیپ Sajama در تنش شوری ۸ dS/m افزایش و در سطح تنش ۳۲ dS/m کاهش نشان داد و در ژنوتیپ Rosada در سطوح تنشی ۸ و ۱۶ dS/m افزایش و در شوری ۳۲ dS/m کاهش مقدار گلوکاتیون کل مشاهده گردید (شکل ۶: A و B).

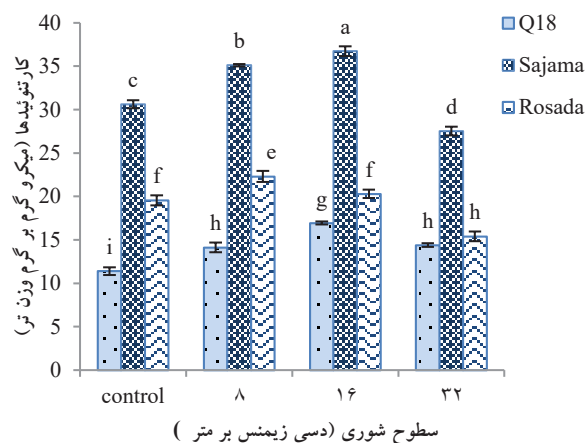


شکل ۱. تأثیر سطوح مختلف شوری بر میزان پراکسید هیدروژن در کینوا ژنوتیپ‌های Q_{18} ، Sajama، Rosada. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه از نظر آماری اختلافی ندارند (آزمون دانکن و $P \leq 0.05$).

A)

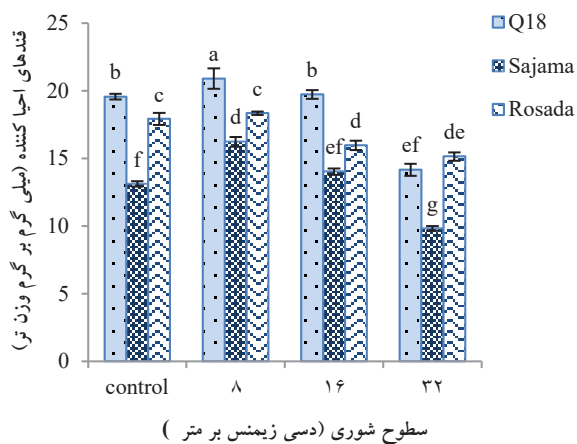


B)

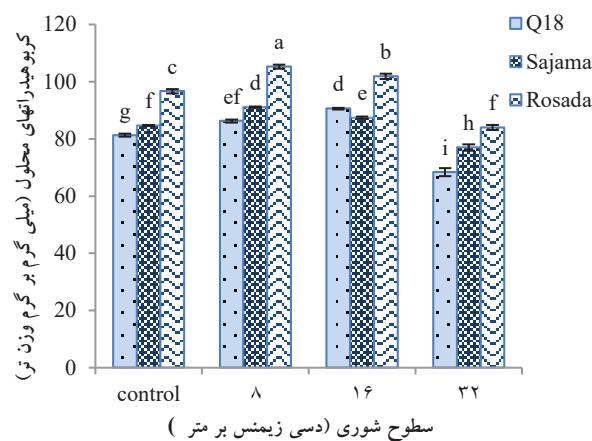


شکل ۲. تأثیر سطوح مختلف شوری بر میزان (A) کلروفیل کل و (B) کارتنوئیدها در کینوا ژنوتیپ‌های 18Q، Sajama، Rosada. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه از نظر آماری اختلافی ندارند (آزمون دانکن و $P \leq 0.05$).

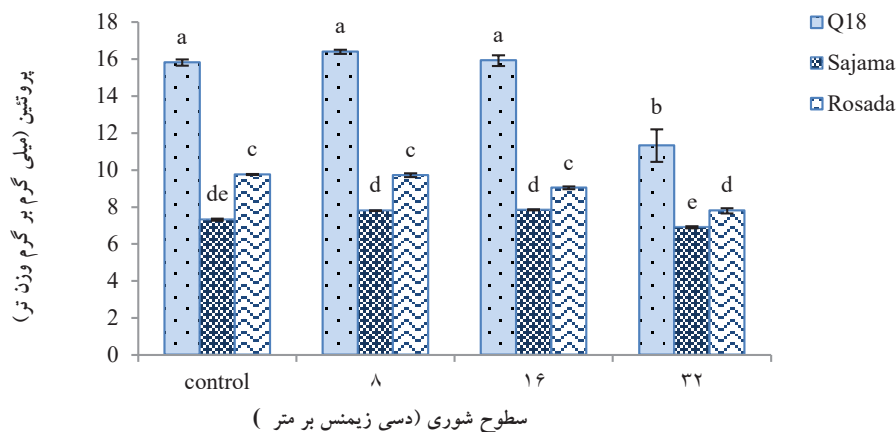
A)



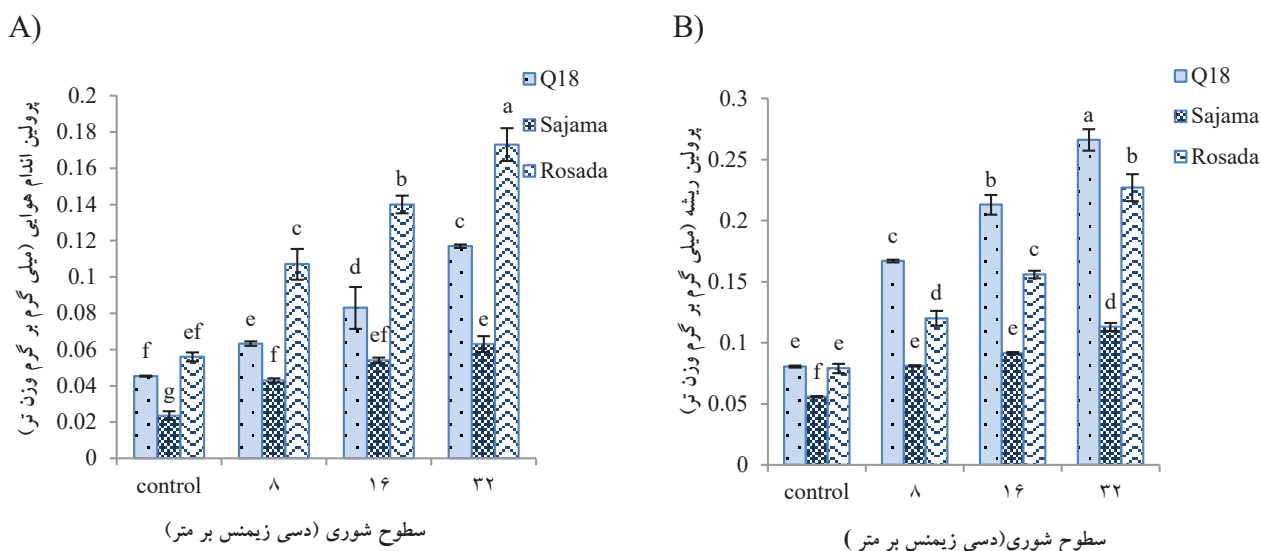
B)



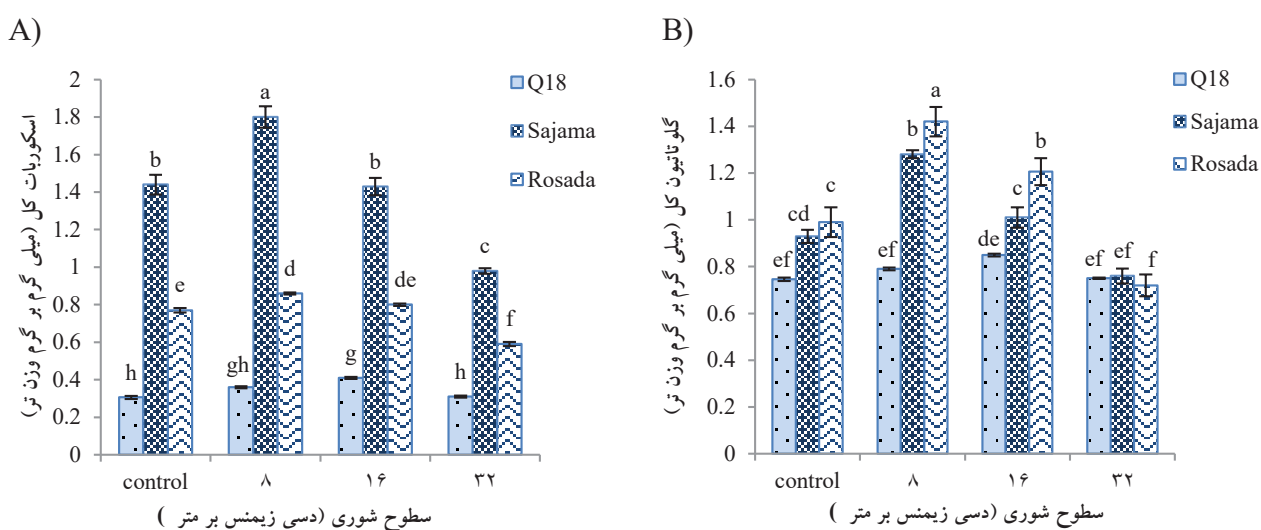
شکل ۳. تأثیر سطوح مختلف شوری بر میزان (A) قندهای احیا کننده و (B) کربوهیدرات‌های کل در کینوا ژنوتیپ‌های 18Q، Sajama، Rosada. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه از نظر آماری اختلافی ندارند (آزمون دانکن و $P \leq 0.05$).



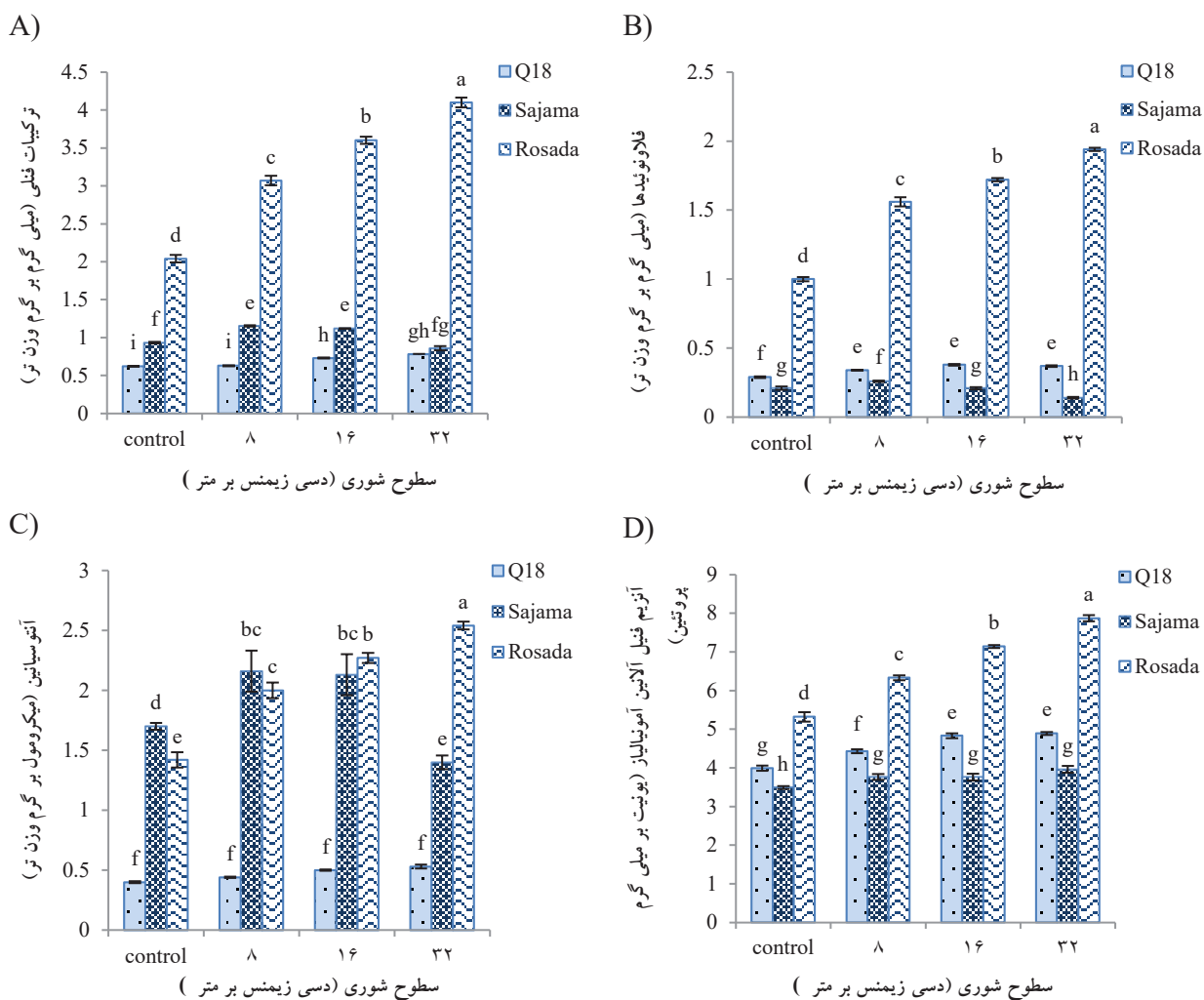
شکل ۴. تأثیر سطوح مختلف شوری بر میزان پروتئین در کینوا ژنوتیپ‌های Q₁₈, Sajama, Rosada. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه از نظر آماری اختلافی ندارند (آزمون دانکن و $P \leq 0.05$).



شکل ۵. تأثیر سطوح مختلف شوری بر میزان (A) پروتئین اندام هوایی و (B) پروتئین ریشه در کینوا ژنوتیپ‌های Q₁₈, Sajama, Rosada. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه از نظر آماری اختلافی ندارند (آزمون دانکن و $P \leq 0.05$).



شکل ۶. تأثیر سطوح مختلف شوری بر میزان (A) اسکوربات کل و (B) گلوکاتایون کل در کینوا ژنوتیپ‌های Q₁₈, Sajama, Rosada. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه از نظر آماری اختلافی ندارند (آزمون دانکن و $P \leq 0.05$).



شکل ۷. تأثیر سطوح مختلف شوری بر مقدار (A) ترکیبات فنلی، (B) فلاونوئیدها، (C) آنتوسیانین و (D) فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیلایز در کینوا ژنوتیپ‌های Q18، Sajama، Rosada. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه از نظر آماری اختلافی ندارند (آزمون دانکن و $P \leq 0.05$).

بحث

گیاه کینوا، نسبت به شوری متحمل است اما این میزان تحمل در بین ارقام و ژنوتیپ‌های گیاه متفاوت است (۸). شناسایی مکانسیم‌های تحمل به نمک در کینوا نیازمند بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی ارقام و ژنوتیپ‌های مختلف این گیاه در پاسخ به تنش شوری است. در مطالعه حاضر تنش شوری در سه ژنوتیپ کینوا به‌طور کلی موجب افزایش مقدار سدیم و کاهش پتاسیم و کاهش نسبت K^+/Na^+ گردید، اما میزان تغییرات این پارامترها در ریشه، اندام هوایی و در کل گیاه در همه ژنوتیپ‌ها یکسان نبود.

پتاسیم یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی است که نقش بسیار کلیدی در حفظ فشار تورژسانس و تنظیم اسمزی

سلول، باز و بسته شدن روزنه‌ها، فعالیت آنزیم‌ها، سنتز پروتئین، متابولیسم قندها و فتوسنتز دارد (۲۰). بنابراین حفظ مقادیر پتاسیم داخل سلول در حد آستانه و بالا نگه داشتن نسبت K^+/Na^+ در سیتوپلاسم برای رشد و نمو و تحمل شوری ضروری است (۲۱). کاهش پتاسیم، افزایش سدیم و کاهش نسبت K^+/Na^+ در تنش شوری در بسیاری از گیاهان از جمله پنبه (۲۲)، سه گونه خربزه (۲۳)، برنج (۲۴) تحت تنش گزارش شده است. تجمع زیاد سدیم، باعث کاهش جذب پتاسیم و نسبت K^+/Na^+ می‌شود، که با عدم تعادل در غلظت‌های یونی، فعالیت‌های متابولیکی سلول‌های گیاهی را مختل می‌کند (۲۵). افزایش پتاسیم در تنش شوری، در مرکبات و زیتون (۲۶) دیده شد و گزارش شده است که

گیاهان متحمل به نمک نسبت به سایر گیاهان در جلوگیری از افت پتاسیم موفق تر عمل کرده اند (۲۷).

در این مطالعه تنش شوری بر جذب کاتیون هایی مانند آهن، مس، روی، منگنز و کلسیم در ژنوتیپ های گیاه کینوا تأثیر گذاشت و توزیع این کاتیون ها را در ریشه و اندام هوایی این ژنوتیپ ها تغییر داد و میزان این تأثیر در همه ژنوتیپ ها یکسان نبود. مطالعه های مختلف نشان دهنده میزان تأثیر متفاوت شوری بر جذب، انتقال و توزیع این عناصر در گیاهان مختلف است. در توت-فرنگی، افزایش محتوای آهن و منگنز در اندام هوایی و افزایش روی و مس در ریشه دیده شد (۲۸). افزایش روی، مس و منگنز در کلیه قسمت های گیاهچه *Butea monosperma* با کاهش هم زمان میزان آهن در افزایش شوری است (۲۹)، تغییرات عناصر غذایی گیاه سویا در تنش شوری سبب افزایش غلظت آهن و منگنز می شود و غلظت مس در بافت های برگ گیاه رابطه مستقیمی با میزان غلظت نمک در آب آبیاری دارد (۳۰). افزایش مقدار سدیم در محیط گیاه باعث کاهش مقدار کلسیم در گیاهان حساس به شوری می شود (۳۱). میزان کلسیم در پنبه (۲۲)، تحت تنش شوری کاهش داشت. در تمام ژنوتیپ های مورد مطالعه این تحقیق، در تنش شوری شدید 32 dS/m ، مقدار کل تمام عناصر ذکر شده در بالا کاهش یافت. طبق گزارش El-Fouly و همکاران ۲۰۱۱، در گندم غلظت عناصر مس، روی، منگنز و آهن در تنش شوری با افزایش سطوح شوری کاهش می یابد (۳۲).

سمیت یون های سدیم و کلر، برهم خوردن تغذیه معدنی، تنش اسمزی و تنش اکسیداتیو ناشی از تنش شوری و کاهش مقدار کلروفیل می تواند منجر به کاهش بیومس و کاهش پارامترهای رشد گیاهان گردد (۳۳). همان گونه که نتایج این تحقیق نشان داد، تنش شوری 32 dS/m در هر سه ژنوتیپ موجب کاهش پارامترهای رشد گردید و با توجه به میزان کاهش پارامترهای رشد به نظر می رسد که ژنوتیپ *Rosada* نسبت به دو ژنوتیپ دیگر به نمک حساس تر و ژنوتیپ *Sajama*، ژنوتیپ متحمل تری نسبت به دو ژنوتیپ دیگر باشد. کاهش پارامترهای رشد در گیاهان گندم (۳۴)، خیار (۳۵)، گیاه استویا *Bertoni rebaudiana Stevia* (۳۶) و گیاه میخک (۳۷) در تنش شوری گزارش شده است.

کاهش شاخص های رشد رویشی مانند تعداد برگ، طول ساقه، وزن خشک اندام هوایی و ریشه در شرایط تنش

شوری به دلیل کاهش پتانسیل آب در محیط ریشه و تأثیر ویژه یون ها در فرآیند متابولیکی است. میزان کاهش رشد گیاهان مختلف در خاک های شور برحسب درجه مقاومت آن ها به شوری متفاوت است. در این مطالعه تنش شوری منجر به کاهش مقدار کلروفیل گردید. غلظت های بالای نمک، کمپلکس های پروتئین-رنگیزه را بی ثبات می کند و فعالیت آنزیم کلروفیلاز و تولید ROS را تحریک می کند (۳۸). همه این پاسخ ها می تواند موجب کاهش مقدار رنگیزه های فتوسنتزی و در نتیجه کاهش تولید بیومس در گیاه شود (۳۹). از طرف دیگر گزارش شده است که کلروفیل و پرولین هر دو از پیش ماده اسید گلوتامیک ساخته می شوند، بنابراین می توان گفت که افزایش سنتز پرولین در طی شرایط تنش می تواند منجر به کاهش سنتز کلروفیل شود (۴۰). تغییرات میزان کلروفیل یکی از شاخص هایی است که در برخی از مطالعه ها به عنوان شاخص تحمل گیاه به تنش نمک ذکر شده است (۴۱). در این مطالعه ژنوتیپ *Sajama*، که با بررسی پارامترهای رشد در شرایط تنش، ژنوتیپ متحمل تری به نمک بود، مقدار کلروفیل آن در تنش شوری 8 dS/m افزایش و در شوری 16 dS/m ثابت ماند و در تنش شوری 32 dS/m کاهش جزئی پیدا کرد. تحقیقات نشان می دهد که در گیاهان مقاوم به تنش شوری محتوای کلروفیل افزایش یا بدون تغییر باقی می ماند در حالی که محتوای کلروفیل در گیاهان حساس کاهش می یابد (۳۳). کاهش فتوسنتز و مقدار کلروفیل در تنش شوری در مطالعه ها (۴۳، ۴۲، ۲۲) گزارش شده است.

کاروتنوئیدها علاوه بر این که رنگیزه کمکی در فتوسنتز هستند، بعنوان یکی از اجزای سیستم دفاع آنتی اکسیدان غیر آنزیمی سلول شناخته می شوند (۴۴). کاروتنوئیدها می توانند به طور مستقیم اکسیژن یکتایی را خاموش نمایند یا از طریق چرخه گزانتوفیل و با مصرف اکسیژن باعث محافظت از کلروفیل در مقابل فتواکسیداسیون شوند، بنابراین نقش مهمی در حفاظت نوری به خصوص در شرایط تنش دارند (۳۳). آنچه که در این مطالعه مشاهده گردید، افزایش مقدار کاروتنوئیدها در شرایط تنش می تواند نشان دهنده اهمیت این ترکیب ها و افزایش بیوسنتز آن ها در طی تنش باشد و کاهش مقدارشان نیز به دلیل ایفای نقش حفاظتی آن ها به عنوان آنتی اکسیدان باشد و این که در شرایط تنش فرایند تجزیه شدن این مواد در طی ایفای نقش آنتی اکسیدانی آن ها، از بیوسنتزشان پیشی گرفته است.

طبق مطالعه‌های انجام شده توسط محققان، محتوای کاروتنوئیدها در شرایط تنش شوری، تغییرات متفاوتی را نشان داده است. کاهش کاروتنوئید در چغندر قند و واریته‌های حساس به نمک دیده شد در حالی که واریته‌های مقاوم به نمک محتوای کاروتنوئید بیش‌تر و یا کاهش حداقلی در محتوای کاروتنوئید نشان داده‌اند (۴۵). کاهش کاروتنوئیدها تحت تنش شوری در گیاه پروانه‌اش *Catharanthus roseus* (۴۶) و در مقابل، افزایش محتوای کاروتنوئیدها در برگ‌های بارهنگ *Plantago coronopus L.* (۴۲) گزارش شده است.

یکی از راه‌های اصلی سازگاری گیاهان با محیط شور و تنظیم اسمزی و کمک به جذب آب در سلول، تجمع زیاد اسمولیت‌های آلی نظیر کربوهیدرات‌ها و اسیدهای آمینه‌ای مانند پرولین است (۴۷). پرولین علاوه بر این که ماده‌ای اسمززا و محافظ اسمزی است در حفظ تعادل آب، منبع ذخیره کربن و نیتروژن برای رشد بعد از رفع تنش، کاهش خطرات حاصل از تولید ROS، جاروب کردن رادیکال‌های هیدروکسیل، خاموش کردن اکسیژن یکتایی و در نتیجه حفظ ماکرومولکول‌های سلولی نظیر پروتئین‌ها، لیپیدها و DNA از خطرات رادیکال‌های آزاد، تنظیم pH سلولی و تنظیم نسبت $NADP^+/NADPH$ ، در جلوگیری از روند پیری با مهار تولید اتیلن و هم‌چنین پرولین از طریق پیوستن به فسفولیپیدهای غشایی و تغییر در لایه هیدراته اطراف ماکرومولکول‌های زیستی در حفظ و ثبات غشاها نیز نقش دارند (۲،۲۲). در این مطالعه مقدار پرولین ریشه و اندام هوایی در همه ژنوتیپ‌های مورد بررسی افزایش یافت و رابطه مستقیم بین میزان افزایش پرولین و تحمل به نمک مشاهده نشد به‌طوری که به‌نظر می‌رسد ژنوتیپ Rosada که در مقایسه با دو ژنوتیپ دیگر، ژنوتیپ حساس‌تر به نمک باشد، افزایش مقدار پرولین بیش‌تری در ریشه و اندام هوایی آن مشاهده گردید و در Sajama که به‌نظر می‌رسد ژنوتیپ متحمل‌تری باشد افزایش پرولین در مقایسه با دو ژنوتیپ دیگر کم‌تر بود. تجمع پرولین در شرایط تنش شوری در بسیاری از گیاهان مانند، گیاه کلزا (۴۸) و پنبه (۲۲) گزارش شده است. به‌نظر می‌رسد که پرولین در کاهش خرابی ایجاد شده ناشی از دی هیدراته شدن، نقش مهمی را بازی می‌کند و لازم به ذکر است که افزایش محتوای پرولین در ریشه بیش‌تر از ساقه‌ها است (۴۹) افزایش پرولین در شرایط تنش، می‌تواند ناشی از سنتز پرولین، کاهش اکسید شدن پرولین به گلوتامات و یا کاهش مصرف آن

در سنتز پروتئین‌ها و یا افزایش تجزیه پروتئین‌ها باشد (۵۰).

کربوهیدرات‌های گیاهان قرار گرفته در معرض تنش‌هایی نظیر شوری، می‌توانند به‌عنوان ترکیب‌های محافظت کننده و تنظیم کننده اسمزی، ذخیره کربن و حذف کننده رادیکال‌های آزاد عمل کنند (۵۱). قندهای تجمع یافته تحت تنش شوری از طریق برهم‌کنش با ماکرومولکول‌های سلولی از جمله آنزیم‌ها به برقراری و ثبات ساختارهای سلولی و عملکرد آن‌ها کمک می‌کنند (۵۲). نتایج این بررسی افزایش مقدار قندهای احیاکننده و کربوهیدرات‌های محلول در شرایط تنش شوری dS/m ۸ و ۱۶ را در ژنوتیپ‌های کینوا نشان می‌دهد. اما در شرایط تنش شوری عده‌ای از پژوهشگران افزایش، تعدادی کاهش و تعدادی نیز تغییر نکردن کربوهیدرات‌ها را گزارش کرده‌اند (۵۴،۵۳،۴۸).

مقدار قندها در ارتباط مستقیم با فرآیندهایی نظیر انتقال، فتوسنتز و تنفس می‌باشد. آنزیم‌ها و ژن‌های درگیر سنتز و تجزیه نشاسته، ساکارز، گلیکولیز، چرخه کربس، مسیر پنتوز مونوفسفات و سرانجام تعادل قند و نشاسته، پروتئین‌های انتقال دهنده قندها، بارگیری و انتقال قندها و روابط مبدا و مقصد همه تحت تأثیر تنش‌های محیطی، نظیر شوری و خشکی قرار می‌گیرند، بنابراین تفسیر تغییر مقدار کربوهیدرات‌ها آسان نیست (۵۴). بر اساس نتایج در تنش شوری dS/m ۳۲ مقدار کلروفیل ژنوتیپ‌های مورد بررسی کاهش یافت و در تنش شوری dS/m ۳۲ مقدار کربوهیدرات‌های گیاه نیز کاهش را نشان داد، بنابراین به‌نظر می‌رسد یکی از دلایل کاهش میزان کربوهیدرات‌های گیاهان تحت تنش شوری dS/m ۳۲ را بتوان با کاهش میزان کلروفیل و به تبع آن کاهش فتوسنتز مرتبط دانست. در این تحقیق، پروتئین تحت تنش شوری dS/m ۳۲ در ژنوتیپ‌های Q_{18} و Rosada کاهش و در سایر سطوح شوری و در ژنوتیپ Sajama مقدار پروتئین بدون تغییر ماند. در تنش شوری، تنش اسمزی و تنش اکسیداتیو ناشی از آن می‌تواند منجر به آسیب برخی پروتئین‌ها و آنزیم‌های سلولی شود. افزایش غلظت سدیم باعث جلوگیری از جذب پتاسیم می‌شود که مکانیسم‌های سلولی وابسته پتاسیم، مانند فتوسنتز، فعالیت آنزیمی و سنتز پروتئین با مشکل مواجه می‌شوند (۵۵،۲۵). افزایش یا کاهش و عدم تغییر مقدار پروتئین در شرایط تنش شوری بسته به شدت تنش و میزان تحمل گیاه به تنش، توسط پژوهشگران از جمله (۴۸،۳۷،۹) گزارش

شده است. با توجه به نتایج می توان گفت که به احتمال کاهش مقدار پروتئین در تنش ۳۲ dS/m به کاهش مقدار کلروفیل و کربوهیدرات ها و افزایش تنش اکسیداتیو مرتبط است.

معمول ترین پاسخ گیاه به تنش شوری افزایش تولید ROS و تنش اکسیداتیو است در این تحقیق افزایش مقدار H_2O_2 به عنوان یکی از شاخص های تنش اکسیداتیو در Q_{18} و Rosada در همه سطوح تنش شوری و در Sajama در شوری ۳۲ dS/m مشاهده گردید. در مقایسه با سایر رادیکال های آزاد نظیر آنیون سوپراکسید و هیدروکسیل، H_2O_2 پایدارترین و کم واکنش ترین ROS است و یک مولکول قابل انتشار که به راحتی می تواند از غشاء عبور کند و به سلول ها آسیب برساند (۲۰). H_2O_2 مانند یک شمشیر دو لبه عمل می کند زیرا در مقادیر کم به عنوان پیامبر ثانویه عمل کرده و برای سلول ضروری است، اما انباشت بیش از حد آن منجر به آسیب اکسیداتیو به سلول می گردد (۵۶). گیاهان می توانند اثرات تنش اکسیداتیو را با فعال سازی سیستم های دفاع آنتی اکسیدان آنزیمی و غیر آنزیمی تعدیل نمایند. آنتی اکسیدان های غیر آنزیمی شامل کارتنوئیدها، اسکوربات، گلوکاتیون، توکوفرول، ترکیب های فنلی، آنتوسیانین و فلاونوئیدها است (۵۷). اسکوربات و گلوکاتیون آنتی اکسیدان های بسیار قوی هستند که با جاروب کردن ROS به طور مستقیم نقش مهمی در محافظت از سلول های گیاهی دارند (۴۴). این دو ماده سوپسترای آنزیم های چرخه اسکوربات-گلوکاتیون هستند، اسکوربات می تواند به طور مستقیم رادیکال های هیدروکسیل، سوپراکسید و اکسیژن یکتایی را پاک سازی کند و H_2O_2 را از طریق واکنش اسکوربات پراکسیداز به آب تبدیل نماید (۵۸). گلوکاتیون علاوه بر نقش آنتی اکسیدانی قوی، در کنترل مقدار H_2O_2 از طریق چرخه اسکوربات-گلوکاتیون و در بازسازی مجدد اسکوربات طی این چرخه نقش هایی ایفا می کند (۵۹). بنابراین حفظ حوضچه (pool) اسکوربات و گلوکاتیون در گیاهان به خصوص در شرایط تنش، نقش مهمی در دفاع آنتی اکسیدانی سلول بازی می کند. برای حفظ حوضچه این ترکیب ها در شرایط تنش از آنجا که میزان تجزیه این مواد افزایش یافته است باید میزان بیوسنتز این ترکیب ها افزایش یابد. در این مطالعه مقدار اسکوربات کل و گلوکاتیون در Q_{18} در شرایط تنش ۳۲ dS/m ثابت ماند اما در Sajama و Rosada در تنش شدید شوری کاهش یافت و در سطح شوری

۸ و ۱۶ مقدار اسکوربات و گلوکاتیون کل با افزایش و یا عدم تغییر همراه بود. بررسی ها نشان می دهد تنش شوری در گیاهان مختلف باعث کاهش و یا افزایش میزان اسکوربات و گلوکاتیون شده و یا تأثیری بر مقدار آن ها نداشته است (۲۵،۹).

ترکیب های فنلی در گیاه از مسیر فنیل پروپانویید سنتز می شوند و فنیل آلانین آمونیا لایز (PAL) آنزیم اصلی در متابولیسم فنولیک است، در نتیجه باعث تجمع ترکیب های فنولیک می شود (۶۰). ترکیب های فنلی و فلاونوئیدها و آنتوسیانین ها می توانند به عنوان خاموش کننده یا جاروب کننده رادیکال های آزاد اکسیژن و یا سایر گونه های فعال اکسیژن عمل نمایند (۶۱). در تنش شوری فعالیت آنزیم PAL در همه ژنوتیپ های مورد بررسی افزایش یافت و مقدار ترکیب های فنلی، آنتوسیانین ها و فلاونوئیدها نیز در تنش شوری افزایش یافت و یا مقدار آن ثابت ماند. با توجه به افزایش فعالیت PAL در همه سطوح تنش به نظر می رسد که سنتز این ترکیب های فنلی افزایش یافته و به احتمال به دلیل نقش آنتی اکسیدانی و حفاظتی این ترکیب های فنلی، تجزیه شان نیز در شرایط تنش افزایش یافته و نتیجه آن ثابت ماندن مقدار این ترکیب ها است. اما آنچه در این مطالعه قابل توجه بود افزایش بسیار زیاد ترکیب های فنلی و آنتوسیانین ها و فلاونوئیدها در ژنوتیپ Rosada بود و علی رغم افزایش بسیار زیاد این ترکیب ها هم زمان با افزایش شدت تنش در این ژنوتیپ، این ژنوتیپ نسبت به دو ژنوتیپ دیگر تحمل به شوری کمتری داشت و دلیل آن کاهش بیش تر پارامترهای رشد و افزایش تنش اکسیداتیو در این ژنوتیپ بود. با توجه به نقش آنتی اکسیدانی و اصلاح ROS ترکیب های فنولی، فلاونوئیدها و آنتوسیانین ها در گیاه، به نظر می رسد افزایش این متابولیت ها تحت شرایط تنش شوری، سبب افزایش مقاومت آن در برابر عوامل نامساعد محیطی شده است (۶۲). افزایش فعالیت PAL تحت تنش شوری در برگ نیشکر *Saccharum officinarum* (۶۳)، انگور *Vitis vinifera* (۶۴) گزارش شده است و افزایش محتوای فلاونوئید در گیاه گلرنگ (۴۴) و افزایش سطح های فنلی در بادام زمینی (۶۵) و افزایش سطح آنتوسیانین در توت فرنگی (۶۶) و در مقابل، کاهش محتوای آنتوسیانین (۶۷) و کاهش ترکیب های فنلی در گیاه فلفل (۶۸) گزارش شده است.

بنابراین گیاهان برای زنده ماندن در تنش شوری به فعال سازی مکانیسم های محافظتی نیاز دارند که بتوانند

سمیت‌های ناشی از شوری را کاهش دهند. گیاهان می‌توانند با فعال کردن پاسخ‌های مختلف مولکولی و بیوشیمیایی در سطح سلولی یا کل گیاه، تنش شوری را تحمل کنند (۵). رشد و بهره‌وری گیاه به شدت تحت تأثیر شوری قرار می‌گیرد زیرا سطح بالای نمک باعث ایجاد تنش‌های اسمزی و یونی می‌شود که تولید گونه‌های اکسیژن واکنش پذیر (ROS) و عدم تعادل تغذیه‌ای را تقویت می‌کند (۵).

نتیجه‌گیری

مجموع نتایج کاهش شاخص‌های رشد رویشی در تنش شوری ۳۲ dS/m را در همه ژنوتیپ‌ها نشان داد و با توجه به میزان کاهش پارامترهای رشد به‌نظر می‌رسد ژنوتیپ Sajama نسبت به دو ژنوتیپ دیگر تحمل بیش‌تری به نمک داشته باشد. هم‌چنین با بررسی نتایج مقادیر سدیم در تنش شوری در کینوا، به‌نظر می‌رسد ژنوتیپ Sajama تا سطح تنش ۱۶ dS/m نسبت به دو ژنوتیپ دیگر و در تنش شدید ۳۲ dS/m، ژنوتیپ Rosada، در مقایسه با دو ژنوتیپ دیگر، دارای توانایی بیش‌تری برای ممانعت انتقال سدیم از ریشه به اندام هوایی و ممانعت از کاهش مقدار پتاسیم هستند و نیز مقدار کل عناصر (مس، منگنز، کلسیم، روی، آهن) در تنش شوری ۳۲ dS/m کاهش یافتند. بر اساس این نتایج افزایش پرولین و کاهش مقدار پروتئین در تنش شوری ۳۲ dS/m می‌تواند مرتبط با کاهش کلروفیل، کاروتنوئید، قندهای احیا و کربوهیدرات کل و افزایش تنش اکسیداتیو و افزایش مقدار H_2O_2 دانست، که با مقایسه این پارامترها ژنوتیپ Sajama را متحمل به شوری نشان می‌دهد. اما میزان اسکوربات کل و گلوکاتیون در تنش ۳۲ dS/m در Q_{18} ثابت ماند ولی در Sajama و Rosada کاهش را نشان می‌دهد.

در حالی که بررسی پارامترهای مورفوفیزیولوژیکی نشان می‌دهد، میزان تحمل شوری ژنوتیپ Rosada نسبت به دو ژنوتیپ دیگر کم‌تر است اما ارتباطی بین افزایش ترکیب‌های فنلی، فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها و مقاومت به شوری در این ژنوتیپ وجود ندارد و با توجه به افزایش فعالیت PAL در همه سطوح شوری و در همه ژنوتیپ‌ها، سنتز ترکیب‌ها مسیر فنیل پروپانوئیدی زیاد شده است که می‌تواند از کاهش رشد و آسیب بیش‌تر به گیاه ژنوتیپ Rosada در تنش شوری جلوگیری کند.

منابع

1. Sun Y, Mu C, Zheng H, Lu S, Zhang H, Zhang X, et al. Exogenous Pi supplementation improved the salt tolerance of maize (*Zea mays* L.) by promoting Na⁺ exclusion. *Sci Rep*. 2018 Nov 1;8(1):1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-34320-y>
2. Gupta B, Huang B. Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. *Int J Genomics*. 2014 Jan 1;2014:701596. <https://doi.org/10.1155/2014/701596>
3. Chen J, Xiong D-Y, Wang W-H, Hu W-J, Simon M, Xiao Q, et al. Nitric Oxide Mediates Root K⁺/Na⁺ Balance in a Mangrove Plant, *Kandelia obovata*, by Enhancing the Expression of AKT1-Type K⁺ Channel and Na⁺/H⁺ Antiporter under High Salinity. *PLoS ONE*. 2013 Aug 19;8(8):e71543. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071543>
4. Hasanuzzaman M, Oku H, Nahar K, Bhuyan MHMB, Mahmud JA, Baluska F, et al. Nitric oxide-induced salt stress tolerance in plants: ROS metabolism, signaling, and molecular interactions. *Plant Biotechnol Rep*. 2018 Apr 1;12(2):77–92. <https://doi.org/10.1007/s11816-018-0480-0>
5. Muchate NS, Rajurkar NS, Suprasanna P, Nikam TD. NaCl induced salt adaptive changes and enhanced accumulation of 20-hydroxyecdysone in the in vitro shoot cultures of *Spinacia oleracea* (L.). *Sci Rep*. 2019 Aug 29;9(1):1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48737-6>
6. Liu Q, Liu R, Ma Y, Song J. Physiological and molecular evidence for Na⁺ and Cl[–] exclusion in the roots of two *Suaeda salsa* populations. *Aquatic Botany*. 2018 Apr 1;146:1–7. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2018.01.001>
7. González JA, Eisa SSS, Hussin SAES, Prado FE. Quinoa: An Incan Crop to Face Global Changes in Agriculture [Internet]. 2015 [cited 2021 Nov 1]. Available from: <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.wiley-n9781118628041-ch1>
8. Gil-Ramirez A, Salas-Veizaga DM, Grey C, Karlsson EN, Rodriguez-Meizoso I, Linares-Pastén JA. Integrated process for sequential extraction of saponins, xylan and cellulose from quinoa stalks (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Ind Crops Prod*. 2018 Oct 1;121:54–65. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.04.074>
9. Daneshmand F, Arvin MJ. Response of Potato Species to Salt and Osmotic Stress in Vitro and the Role of Acetylsalicylic Acid: Non-Enzymatic Antioxidants. 2011;
10. Velikova V, Yordanov I, Edreva A. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: Protective role of exogenous polyamines. *Plant Sci*. 2000 Feb 7;151(1):59–66. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(99\)00197-1](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00197-1)
11. Lichtenthaler HK. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Meth Enzymol*. 1987;148:48036–1. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
12. Somogyi M. Notes on sugar determination. *J Biol Chem*. 1952;195(1):19–23.
13. Bradford NA. A rapid and sensitive method for the quantitation microgram quantities of a protein isolated from red cell membranes. *Anal Biochem*. 1976;72(248):e254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
14. Bates LS, Waldren RP, Teare ID. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil*. 1973 Aug 1;39(1):205–7. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
15. De Pinto MC, Francis D, De Gara L. The redox state of the ascorbate-dehydroascorbate pair as a specific sensor of cell division in tobacco BY-2 cells. *Protoplasma*. 1999 Mar 1;209(1):90–7. <https://doi.org/10.1007/BF01415704>
16. Griffith OW. Determination of glutathione and glutathione disulfide using glutathione reductase and 2-vinylpyridine. *Anal Biochem*. 1980 Jul 15;106(1):207–12. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(80\)90139-6](https://doi.org/10.1016/0003-2697(80)90139-6)
17. Soland SF, Laima SK. Phenolics and cold tolerance of *Brassica napus*. *Plant Agriculture*. 1999;1:1–5.

18. Wagner GJ. Content and Vacuole/Extravacuole Distribution of Neutral Sugars, Free Amino Acids, and Anthocyanin in Protoplasts. *Plant Physiol.* 1979 Jul 1;64(1):88–93. <https://doi.org/10.1104/pp.64.1.88>
19. Wang JW, Zheng LP, Wu JY, Tan RX. Involvement of nitric oxide in oxidative burst, phenylalanine ammonia-lyase activation and Taxol production induced by low-energy ultrasound in *Taxus yunnanensis* cell suspension cultures. *Nitric Oxide.* 2006 Dec 1;15(4):351–8. <https://doi.org/10.1016/j.niox.2006.04.261>
20. Kordrostami M, Rabiei B, Hassani Kumleh H. Biochemical, physiological and molecular evaluation of rice cultivars differing in salt tolerance at the seedling stage. *Physiol Mol Biol Plants.* 2017 Jul 1;23(3):529–44. <https://doi.org/10.1007/s12298-017-0440-0>
21. Wang M, Zheng Q, Shen Q, Guo S. The Critical Role of Potassium in Plant Stress Response. *Int J Mol Sci.* 2013 Apr;14(4):7370–90. <https://doi.org/10.3390/ijms14047370>
22. Dong YJ, Jinc SS, Liu S, Xu LL, Kong J. Effects of exogenous nitric oxide on growth of cotton seedlings under NaCl stress. *J Soil Sci Plant Nutr.* 2014 Mar;14(1):1–13.
23. Amanullah S, Liu S, Gao P, Zhu Z, Zhu Q, Fan C, et al. QTL mapping for melon (*Cucumis melo* L.) fruit traits by assembling and utilization of novel SNPs based CAPS markers. *Sci Hortic.* 2018 Jun;236:18–29. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.041>
24. Rahman A, Hossain MS, Mahmud J-A, Nahar K, Hasanuzzaman M, Fujita M. Manganese-induced salt stress tolerance in rice seedlings: regulation of ion homeostasis, antioxidant defense and glyoxalase systems. *Physiol Mol Biol Plants.* 2016 Jul 1;22(3):291–306. <https://doi.org/10.1007/s12298-016-0371-1>
25. Mohsin S, Hasanuzzaman M, Bhuyan M, Parvin K, Fujita M. Exogenous Tebuconazole and Trifloxystrobin Regulates Reactive Oxygen Species Metabolism Toward Mitigating Salt-Induced Damages in Cucumber Seedling. *Plants.* 2019 Oct 18;8(10):428. <https://doi.org/10.3390/plants8100428>
26. Melgar JC, Syvertsen JP, Martínez V, García-Sánchez F. Leaf gas exchange, water relations, nutrient content and growth in citrus and olive seedlings under salinity. *Biol Plant.* 2008 Jun 1;52(2):385–90. <https://doi.org/10.1007/s10535-008-0081-9>
27. Shabala S, Pottosin I. Regulation of potassium transport in plants under hostile conditions: implications for abiotic and biotic stress tolerance. *Physiol Plant.* 2014 Jul 1;151(3):257–79. <https://doi.org/10.1111/ppl.12165>
28. Turhan E, Eris A. Changes of Micronutrients, Dry Weight, and Chlorophyll Contents in Strawberry Plants Under Salt Stress Conditions*. *Commun Soil Sci Plant Anal.* 2005 Apr;36(7-8):1021–8. <https://doi.org/10.1081/CSS-200050418>
29. Hirpara DD, Ramoliya KJ, Patel AD, Pandey AN. Effect of salinisation of soil on growth and macro- and micro-nutrient accumulation in seedlings of *Butea monosperma* (Fabaceae). *Anales de biología.* 2005;(27):3–14.
30. Tunçtürk M, Tunçtürk R, Yasar F. Changes in micronutrients, dry weight and plant growth of soybean (*Glycine max* L. *Merrill*) cultivars under salt stress. *Afr j biotechnol* [Internet]. 2010 Sep 1;7(11). Available from: <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/58757>
31. De Lacerda CF, Cambraia J, Oliva MA, Ruiz HA, Prisco JT. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. *Environ Exp Bot.* 2003 Apr 1;49(2):107–20. [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(02\)00064-3](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(02)00064-3)
32. El-Fouly MM, Mobarak ZM, Salama ZA. Micronutrients (Fe, Mn, Zn) foliar spray for increasing salinity tolerance in wheat *Triticum aestivum* L. *Afr J Plant Sci.* 2011 May 31;5(5):314–22. <https://doi.org/10.5897/AJPS.9000165>
33. Ashraf M, Harris PJC. Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynt.* 2013 Jun 1;51(2):163–90. <https://doi.org/10.1007/s11099-013-0021-6>

34. Rady MM, Kuşvuran A, Alharby HF, Alzahrani Y, Kuşvuran S. Pretreatment with Proline or an Organic Bio-stimulant Induces Salt Tolerance in Wheat Plants by Improving Antioxidant Redox State and Enzymatic Activities and Reducing the Oxidative Stress. *J Plant Growth Regul.* 2019 Jun 1;38(2):449–62. <https://doi.org/10.1007/s00344-018-9860-5>
35. Gurmani AR, Khan SU, Ali A, Rubab T, Schwinghamer T, Jilani G, et al. Salicylic acid and kinetin mediated stimulation of salt tolerance in cucumber (*Cucumis sativus* L.) genotypes varying in salinity tolerance. *Hortic Environ. Biotechnol.* 2018 Aug 1;59(4):461–71. <https://doi.org/10.1007/s13580-018-0056-5>
36. Salmalian M, Ghasemnejad A, Mashayekhi K. The study of quantitative and qualitative changes of *Stevia rebaudiana* Bertoni. Callus under the influence of salicylic acid and salt in solid and liquid culture conditions. *Eco-Phytochemical Journal of Medical Plants.* 2017 Jan 1;5(319):23–39.
37. Badr N Y. Enhancement of Salinity Tolerance in *Dianthus caryophyllus* L. (omaggio) Using in Vitro Selection Technique and Isolation of Potential Salinity Tolerance Genes from *Mesembryanthemum Crystallinum* L. [Internet]. Islamic University- Gaza; 2015 [cited 2021 Nov 1]. Available from: <https://iugspace.iugaza.edu.ps/handle/20.500.12358/21664>
38. Sayyari M, Ghavami M, Ghanbari F, Kordi S. Assessment of salicylic acid impacts on growth rate and some physiological parameters of lettuce plants under drought stress conditions. *Int j agric crop sci.* 2013;5(17):1951–7.
39. Hasanuzzaman M, Fujita M. Exogenous sodium nitroprusside alleviates arsenic-induced oxidative stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings by enhancing antioxidant defense and glyoxalase system. *Ecotoxicology.* 2013 Apr 1;22(3):584–96. <https://doi.org/10.1007/s10646-013-1050-4>
40. Rabiei R. Physiological and Morphological reaction of some grapes varieties to drought stress. Iranian PHD Theses of Tehran University. 2003.
41. Hu Z, Amombo E, Gitau MM, Bi A, Zhu H, Zhang L, et al. Changes of Antioxidant Defense System and Fatty Acid Composition in Bermudagrass under Chilling Stress. *J Am Soc Hortic Sci.* 2017 Mar 1;142(2):101–9. <https://doi.org/10.21273/JASHS03999-16>
42. Koyro H-W. Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of the potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* (L.). *Environ Exp Bot.* 2006 Jun 1;56(2):136–46. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.02.001>
43. zamani S, Ghasemnezhad A, Alizadeh M, et al. Effect of Salinity and Salicylic Acid on Morphological and Photosynthetic Pigments Changes of Callus of Artichoke (*Cynara scolymus* L.). *J Crop Breed.* 2018 Sep 1;10(26):128–38.
44. Gengmao Z, Yu H, Xing S, Shihui L, Quanmei S, Changhai W. Salinity stress increases secondary metabolites and enzyme activity in safflower. *Ind Crops Prod.* 2015 Feb 1;64:175–81. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.10.058>
45. Gomathi R, Rakkiyapan P. Comparative lipid peroxidation, leaf membrane thermostability, and antioxidant system in four sugarcane genotypes differing in salt tolerance. *int j plant physiol biochem.* 2011 Apr 30;3(4):67–74. <https://doi.org/10.5897/IJPPB.9000009>
46. Abdolmohammadi S, Omid J. The effect of salicylic acid on some morphological and physiological traits under salinity stress (*Catharanthus roseus*). *Res Agric.* 2017 Nov 22;9(3):28–39.
47. Zhang L, Zhao H-X, Fan X, Wang M, Ding C, Yang R-W, et al. Genetic diversity among *Salvia miltiorrhiza* Bunge and related species inferred from nrDNA ITS sequences. *Turk J Biol.* 2012 Apr 25;36(3):319–26. <https://doi.org/10.3906/biy-1104-1>
48. Baghizadeh A, Salarizadeh MR, Abaasi F. Effects of salicylic acid on some physiological and biochemical parameters of *Brassica napus* L. (canola) under salt stress. *Int J Agric Sci.* 2014;4(2):147–52.

49. Mohammadkhani N, Heidari R. Drought-induced accumulation of soluble sugars and proline in two maize varieties. *World Appl Sci J*. 2008;3(3):448–53.
50. Nasir Khan M, Siddiqui DMH, Mohammad F, Khan MM, Naeem M. Salinity induced changes in growth, enzyme activities, photosynthesis, proline accumulation and yield in linseed genotypes. *World J Agric Sci*. 2007 Jan 1;3:685–95.
51. Parvaiz A, Satyawati S. Salt stress and phyto-biochemical responses of plants – a review. *Plant Soil Environ*. 2008 Mar 19;54(No. 3):89–99.
52. Radi AA, Farghaly FA, Hamada AM. Physiological and biochemical responses of salt-tolerant and salt-sensitive wheat and bean cultivars to salinity. *Journal of Biology and Earth Sciences* [Internet]. 2013 [cited 2021 Nov 1];03(1). Available from: <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.agro-550829bf-ba55-40aa-88a6-353d17a9813a>
53. Karimi G, Ghorbanli M, Heidari H, Khavari Nejad RA, Assareh MH. The effects of NaCl on growth, water relations, osmolytes and ion content in *Kochia prostrata*. *Biol Plant*. 2005 Jun 1;49(2):301–4. <https://doi.org/10.1007/s10535-005-1304-y>
54. Naeini MR, Khoshgoftarmanesh AH, Lessani H, Fallahi E. Effects of Sodium Chloride-Induced Salinity on Mineral Nutrients and Soluble Sugars in Three Commercial Cultivars of Pomegranate. *J Plant Nutr*. 2005 Jan 2;27(8):1319–26. <https://doi.org/10.1081/PLN-200025832>
55. Yuan S, Zhao J, Li Z, Hu Q, Yuan N, Zhou M, et al. MicroRNA396-mediated alteration in plant development and salinity stress response in creeping bentgrass. *Hortic Res*. 2019 May 1;6(1):1–13. <https://doi.org/10.1038/s41438-019-0130-x>
56. Jajic I, Sarna T, Strzalka K. Senescence, Stress, and Reactive Oxygen Species. *Plants*. 2015 Jul 8;4(3):393–411. . <https://doi.org/10.3390/plants4030393>
57. Jain V, Vart S, Verma E, Malhotra SP. Spermine reduces salinity-induced oxidative damage by enhancing antioxidative system and decreasing lipid peroxidation in rice seedlings. *J Plant Biochem Biotechnol*. 2015 Jul 1;24(3):316–23. <https://doi.org/10.1007/s13562-014-0276-4>
58. Alam MM, Hasanuzzaman M, Nahar K, Fujita M. Exogenous salicylic acid ameliorates short-term drought stress in mustard (*Brassica juncea* L.) seedlings by up-regulating the antioxidant defense and glyoxalase system. *Aust J Crop Sci*. 2013;7(7):1053.
59. Hasanuzzaman M, Alam MM, Nahar K, Mohsin SM, Bhuyan MHMB, Parvin K, et al. Silicon-induced antioxidant defense and methylglyoxal detoxification works coordinately in alleviating nickel toxicity in *Oryza sativa* L. *Ecotoxicology*. 2019 Apr 1;28(3):261–76. <https://doi.org/10.1007/s10646-019-02019-z>
60. Bettaieb Rebey I, Bourgou S, Rahali FZ, Msaada K, Ksouri R, Marzouk B. Relation between salt tolerance and biochemical changes in cumin (*Cuminum cyminum* L.) seeds. *J Food Drug Anal*. 2017 Apr 1;25(2):391–402. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.10.001>
61. Wang Z, Li P, Wang C, Jiang Q, Zhang L, Cao Y, et al. Protective effects of *Arctium lappa* L. root extracts (AREs) on high fat diet induced quail atherosclerosis. *BMC Complement Altern Med*. 2015 Dec;16(1):6. <https://doi.org/10.1186/s12906-016-0987-2>
62. Sharma A, Shahzad B, Kumar V, Kohli SK, Sidhu GPS, Bali AS, et al. Phytohormones Regulate Accumulation of Osmolytes Under Abiotic Stress. *Biomolecules*. 2019 Jul;9(7):285. . <https://doi.org/10.3390/biom9070285>
63. Hashemitabar M, Kolahi M, Tabandeh MR, Jonoubi P, Majd A. cDNA cloning, Phylogenic Analysis and Gene Expression Pattern of Phenylalanine ammonia-lyase in Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Braz arch biol technol*. 2014;456–65. . <https://doi.org/10.1590/S1516-8913201402061>
64. Mohammadkhani N, Heidari R, Abbaspour N. Effects of salinity on antioxidant system in four grape (*Vitis vinifera* L.) genotypes. *Vitis*. 2013;52(3):105–10.

65. Afshar Mohammadian M, Ebrahimi Nokandeh S, Jamalomidi M. The effect of different levels of salinity on some non-enzymatic antioxidants of three cultivars of peanut (*Arachis hypogea* L.). *crop physiol j*. 2015 Mar 10;6(24):57–71.
66. Keutgen AJ, Pawelzik E. Quality and nutritional value of strawberry fruit under long term salt stress. *Food Chem*. 2008 Apr 15;107(4):1413–20.
67. Abbas SM. Low levels of selenium application attenuate low temperature stress in sorghum [*sorghum bicolor* (L.) Moench.] seedlings. *Pak J Bot*. 2013;45(5):1597–604.
68. Navarro JM, Flores P, Garrido C, Martinez V. Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. *Food Chem*. 2006 May 1;96(1):66–73. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.057>

3.27±0.012i	4.38±0.025g	6.09±0.015c	7.60±0.01b	2.25±0.0033k	5.87±0.0033d	5.68±0.005c	6.04±0.011c	2.31±0.003j	3.72±0.021h	5.37±0.0041f	8.66±0.033a	نسبت پیاپی به سدیوم کل (میلی گرم بر گرم وزن خشک)
0.1134±0.0067e	0.2677±0.0129a	0.2683±0.0114a	0.2739±0.0044a	0.1522±0.006d	0.2565±0.0094ab	0.2375±0.0069b ^c	0.2297±0.0099b ^c	0.1152±0.0102e	0.1517±0.006d	0.2267±0.0119c	0.2208±0.005 ^c	آهن اندام هوایی (میلی گرم بر گرم وزن خشک)
0.0999±0.0025d	0.1596±0.0032b	0.1442±0.0068bc	0.152±0.0062bc	0.085±0.0051d	0.1435±0.0075bc	0.0838±0.0059d	0.1281±0.0113c	0.1567±0.0072b	0.1416±0.0044bc	0.2195±0.0148a	0.1443±0.0034bc	آهن ریشم (میلی گرم بر گرم وزن خشک)
0.2109±0.0085f	0.426±0.0107ab	0.4113±0.0073b	0.4255±0.0029ab	0.2372±0.0109f	0.40±0.0159b	0.3213±0.0129d	0.3579±0.0061c	0.2719±0.0044e	0.2933±0.0016dc	0.4462±0.0183a	0.3643±0.0085c	آهن کل (میلی گرم بر گرم وزن خشک)
0.0115±0.00028e	0.006±0.00054f	0.0127±0.0005dc	0.0131±0.00018dc	0.0133±0.00044de	0.0141±0.00049d	0.0136±0.00037de	0.0241±0.00051b	0.0212±0.00041c	0.0247±0.0002a	0.022±0.00057b ^c	0.0219±0.00058bc	مس اندام هوایی (میلی گرم بر گرم وزن خشک)
0.0121±0.0006cd	0.0161±0.00044b	0.016±0.00054b	0.0251±0.00049a	0.0041±0.00023 ^g	0.0104±0.0006c	0.0113±0.00059de	0.0055±0.00026b	0.0077±0.00014f	0.0131±0.00018c	0.0121±0.0006cd	0.0124±0.00057cd	مس ریشم (میلی گرم بر گرم وزن خشک)
0.0236±0.00088ef	0.0222±0.00056f	0.0287±0.00043d	0.0383±0.00064b	0.0174±0.00056 ^g	0.0245±0.00042ef	0.0249±0.00075 ^c	0.0396±0.00067b	0.0289±0.00041d	0.0578±0.0002a	0.0341±0.00044 ^c	0.0343±0.00096c	مس کل (میلی گرم بر گرم وزن خشک)
0.0086±0.00037h	0.0113±0.00043 ^g	0.016±0.000577c	0.0460±0.00058a	0.0275±0.00068 ^c	0.0237±0.0005d	0.0135±0.00145f	0.0274±0.00141 ^c	0.011±0.0006g	0.0233±0.00044d	0.0343±0.00042b	0.0441±0.00044a	روی اندام هوایی (میلی گرم بر گرم وزن خشک)
0.0111±0.00049e	0.0147±0.0009c	0.0082±0.00047f	0.014±0.00057cd	0.0121±0.00044de	0.0198±0.00072b	0.0199±0.00098b	0.019±0.00054b	0.0076±0.00032f	0.0074±0.00031f	0.0248±0.00071a	0.0263±0.0006a	روی ریشم (میلی گرم بر گرم وزن خشک)
0.0197±0.00043i	0.0259±0.00048h	0.0241±0.00101h	0.0600±0.0006b	0.0396±0.00061 ^e	0.0435±0.0008d	0.0335±0.0014f	0.0464±0.00121 ^c	0.0187±0.00065i	0.0308±0.00015g	0.0591±0.00095b	0.0704±0.00086a	روی کل (میلی گرم بر گرم وزن خشک)

0.0175±0.00057f	0.0292±0.00078b	0.026±0.00057c	0.0253±0.00038c	0.0203±0.00048c	0.0214±0.0006c	0.0262±0.00063c	0.026±0.00037c	0.0181±0.00058f	0.0226±0.00088d	0.0252±0.00037c	0.046±0.00057a	متغیر اتمام هوایی (میلی گرم بر گرم وزن خشک)
0.0208±0.00101c	0.018±0.00052f	0.033±0.00063c	0.0375±0.00057b	0.00936±0.00029h	0.0265±0.00061d	0.0132±0.0014g	0.0452±0.00055a	0.0068±0.00031i	0.0116±0.00033g	0.0185±0.00036f	0.0222±0.00062c	متغیر ریشده فیلی گرم بر گرم وزن خشک)
0.0383±0.00158g	0.0473±0.0003c	0.0591±0.00066d	0.0628±0.0003c	0.0297±0.00056i	0.0475±0.00102c	0.0393±0.0013g	0.0712±0.0005a	0.0249±0.00084j	0.0343±0.00088h	0.0427±0.00064f	0.0682±0.00023b	متغیر کل (فیلی گرم بر گرم وزن خشک)
1.6319±0.0158g	2.3902±0.021c	2.69±0.0057c	2.778±0.0115b	1.594±0.0054h	2.584±0.0132d	1.7034±0.0043f	2.8121±0.0045ab	1.6752±0.0074f	1.6741±0.0152f	2.8316±0.0163a	2.8324±0.0117a	کلسیم اتمام هوایی (میلی گرم بر گرم وزن خشک)
1.3176±0.0129c	1.8172±0.0125b	2.20±0.0057a	1.6342±0.0111d	1.1085±0.0069f	1.7586±0.0081c	1.6417±0.0072d	1.7838b±0.0065c	0.5166±0.012h	0.6547±0.0158g	1.7758±0.021c	1.7483±0.0245c	کلسیم ریشده فیلی گرم بر گرم وزن خشک)
2.9483±0.0251g	4.2074±0.0297c	4.89033±0.0101a	4.41220±.089c	2.7026±0.0122h	4.3427±0.0178d	3.345±0.0116f	4.596±0.011b	2.1919±0.01109j	2.2288±0.03886i	4.6076±0.0336b	4.5807±0.03007b	کلسیم کل (فیلی گرم بر گرم وزن خشک)

